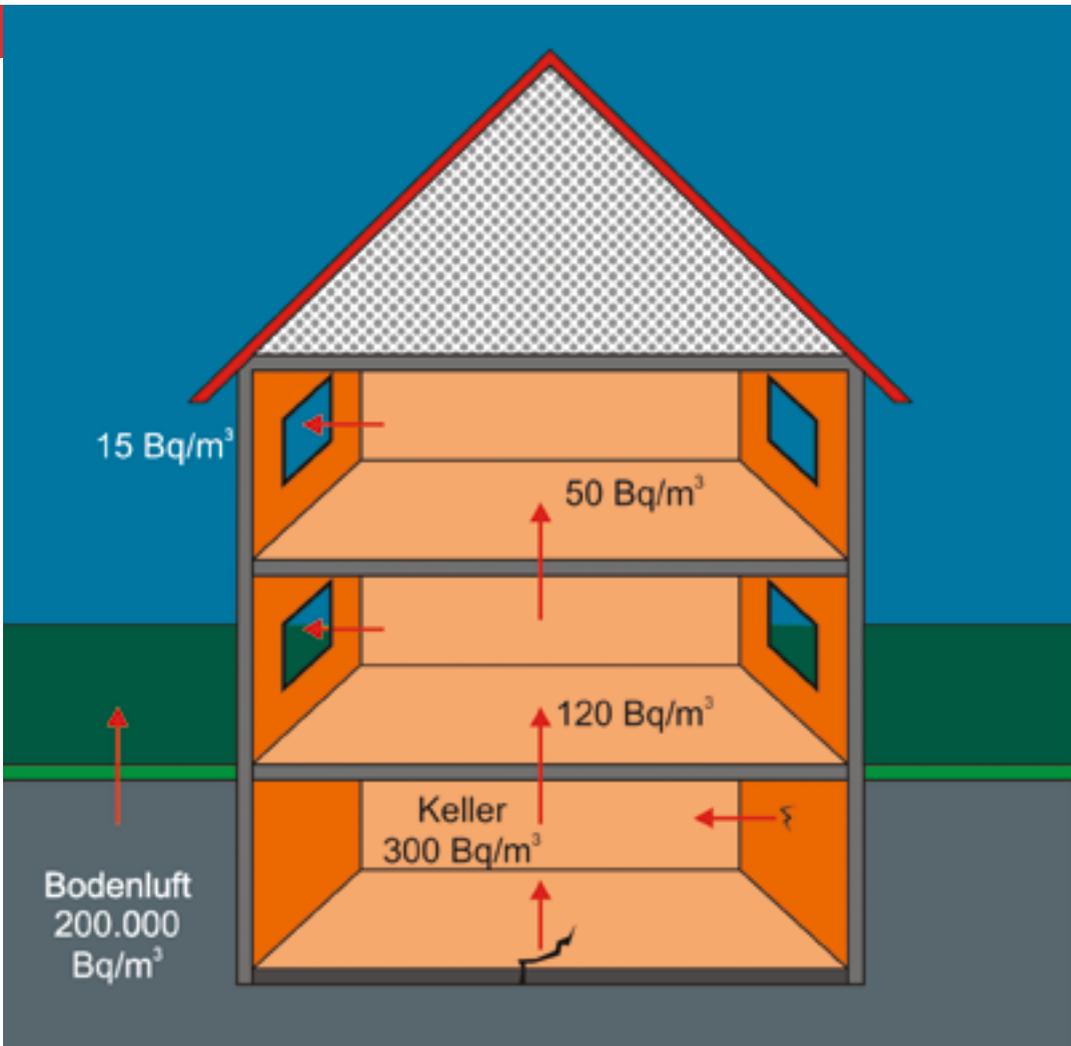


Radon in Hessen

Praktische Informationen zum Strahlenschutz



Impressum

Herausgeber:

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden
umwelt.hessen.de

Gestaltung: design.idee, büro für gestaltung, Erfurt

Autor: Dr. Gerald Kraus, Dr. Sebastian Huber

Erscheinungsdatum: November 2019

Bildnachweise:

Titelseite: Bundesamt für Strahlenschutz

S. 7: Alexander+Theresia Schulz; S. 8: antoine2k; S. 12: zwehren; S. 16: lenets_tan; S. 19: Lothar Nahler; S. 24: rcfotostock; S. 31: Alexander+Theresia Schulz; S. 33: drangoncello; S. 37: Jürgen Fächle alle Stock.Adobe.com

Hinweis:

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch Wahlbewerberinnen und -bewerbern oder Wahlhelferinnen und -helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Europa- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich sind insbesondere eine Verteilung dieser Druckschrift auf Wahlveranstaltungen oder an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Einleitung

Über die letzten Jahre und insbesondere mit dem Inkrafttreten des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) sowie der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ist das Thema „Radon“ zusehends in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung gerückt. Diese Informationsbroschüre leistet einen Beitrag zur Aufklärung über eine mögliche Strahlenexposition durch das Edelgas Radon und gibt Ihnen die Möglichkeit, sich über dieses Thema zu informieren. Dem falschen Eindruck, Radon stelle eine beträchtliche Gefährdung für die Gesundheit der Bevölkerung dar, stellt die Broschüre sachliche Informationen entgegen. So ist Radon in Wohnräumen zwar ein weit verbreitetes Phänomen, jedoch ist die Radonexposition in den meisten Fällen so gering, dass eine Gesundheitsgefährdung nicht zu befürchten ist. Darüber hinaus genügen in sehr vielen Fällen bereits einfachste Anpassungen des eigenen Wohnverhaltens (Lüften), um die Radonkonzentration in der Innenraumluft bedeutend abzusenken und so das Risiko für die Gesundheit weiter zu reduzieren.

Inhalt

- 04 Zur Physik
- 08 Radon als Quelle natürlicher Radioaktivität
- 13 Radon und mögliche Folgen für die Gesundheit
- 20 Radon in Gebäuden
- 26 Radonmessungen
- 29 Maßnahmen gegen Radon in Gebäuden
- 32 Gesetzgebung zum Radon / Schutz vor Radon
- 37 Gesetzgebung zum Radon / Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen
- 41 Glossar
- 43 Weiterführende Informationen

Zur Physik

Frage: Was sind Radioaktivität und ionisierende Strahlung?

Die Physik unterscheidet zwischen nicht-ionisierender und ionisierender Strahlung. Die Energie nicht-ionisierender Strahlung reicht nicht aus, ein Elektron aus einem Atom zu entfernen. Zur nicht-ionisierenden Strahlung zählen z. B. die Infrarotstrahlung (= Wärmestrahlung) oder die elektromagnetische Strahlung von Radios sowie Mobiltelefonen. Dem gegenüber genügt die Energie ionisierender Strahlung, Elektronen aus einem Atom herauszuschlagen, es zu ionisieren. Zur ionisierenden Strahlung zählen z. B. die Röntgenstrahlung, sowie die durch Radioaktivität ausgesendete Strahlung. Nachfolgend befasst sich diese Informationsbroschüre ausschließlich mit ionisierender Strahlung.

Radioaktivität und ionisierende Strahlung

Unter Radioaktivität im Sinne der Physik versteht man die Eigenschaft instabiler Atomkerne sich spontan in andere Atomkerne umzuwandeln (zu zerfallen) oder ihren energetischen Zustand zu ändern. Bei diesen Prozessen wird Energie in Form von ionisierender Alpha-(α -), Beta-(β -) oder Gamma-(γ -)Strahlung ausgesendet.

Aktivität und Dosis

Die Zahl der in einer bestimmten Zeit zerfallenden Atomkerne heißt Aktivität und hat die Maßeinheit Becquerel (Bq): 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde. Die radioaktiven Atomkerne zerfallen mit einer für jedes Radionuklid charakteristischen Zeit. Die Zeit, nach der die Hälfte der Atomkerne zerfallen ist, nennt man Halbwertszeit (HWZ).

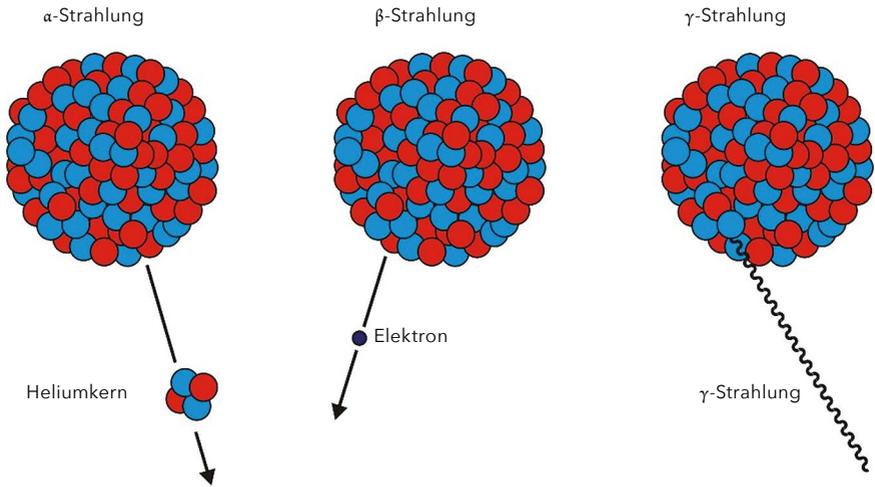


Abbildung 1: α -, β - oder γ -Strahlung (schematisch). Umwandlung eines Atomkerns unter Aussendung eines Heliumkerns (α -Strahlung) oder eines Elektrons (β -Strahlung) und Aussendung eines γ -Quants durch energetische Zustandsänderung des Atomkerns (γ -Strahlung). *Quelle: eigenes Bild.*

Die Wirkung der ionisierenden Strahlung auf den Menschen hängt von der Strahlungsart und der Empfindlichkeit des bestrahlten Organs ab. Die Dosis ist ein Maß für die durch ionisierende Strahlung in biologischer Materie oder im Menschen absorbierte Energie. Sie hat die Maßeinheit Sievert (Sv).

Künstlicher und natürlicher Anteil an der Radioaktivität

Radioaktivität lässt sich nach ihrer Ursache in künstlich erzeugte (= zivilisatorische) und natürliche Radioaktivität unterteilen. Für die Wirkung hat diese Einteilung keine Folgen. Ionisierende Strahlung aus natürlicher Radioaktivität hat bei gleicher Intensität gleiche Wirkung wie ionisierende Strahlung aus künstlicher Radioaktivität.

Der Mensch ist (wie auch alles andere Leben) bereits seit er auf der Erde existiert, ionisierender Strahlung durch natürliche Radioaktivität ausgesetzt. Dieser natürliche Anteil an der Strahlenexposition des Menschen beinhaltet:

- Höhenstrahlung von der Sonne sowie aus dem Kosmos,
- Strahlung natürlicher radioaktiver Stoffe im Körper, in der Nahrung und in der Atemluft,
- Strahlung aus den oberen Bodenschichten (geologisch – terrestrische Strahlung).

Eine Quelle natürlicher Radioaktivität ist das in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus gerückte Radon.

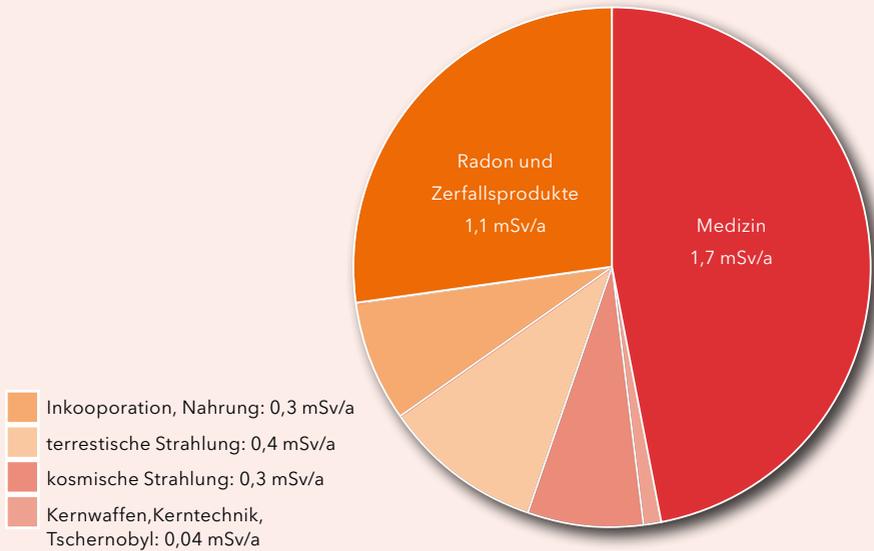


Abbildung 2: Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung in Deutschland (nördliche Hemisphäre) im Jahr 2016. Die mittlere Jahresdosis beträgt etwa 3,8 Millisievert. *Quelle: eigenes Bild – Die verwendeten Daten entstammen dem Jahresbericht 2016 - Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung des BfS, erschienen 2018.*

Darüber hinaus ist der Mensch seit der technischen Nutzung der Radioaktivität (um 1900), zusätzlich zur natürlichen Radioaktivität, ionisierender Strahlung aus zivilisatorischen Quellen ausgesetzt. Dieser nicht-natürliche Anteil an der Strahlenexposition des Menschen beinhaltet:

- Strahlung durch medizinische Anwendungen (CT, Röntgendiagnostik, Strahlentherapie,...),

- Strahlung durch technische Anwendungen (z. B. zerstörungsfreie Prüfung), kerntechnische Anlagen, Kernwaffenfallout und Kernunfälle (z. B. Tschernobyl).

Diese Strahlung ist durch den Verursacher soweit wie möglich zu reduzieren. Daneben kann Strahlenexposition durch die zivilisatorisch bedingte Umverteilung natürlicher Radioaktivität, z. B. Baumaterial, Rückstände aus dem Bergbau u. v. m. verursacht sein.

Um ein Gefühl für die Beiträge ionisierender Strahlung natürlichen und zivilisatorischen Ursprungs zur durchschnittlichen Strahlenexposition zu bekommen, der die Bevölkerung in Deutschland im Mittel ausgesetzt ist, zeigt Abbildung 2 die Zusammensetzung der mittleren effektiven Jahresdosis durch ionisierende Strahlung in Deutschland.

Etwas weniger als die Hälfte der mittleren jährlichen Dosis (ca. 1,7 Millisievert) entfällt auf ionisierende Strahlung zivilisatorischen Ursprungs, wobei die medizinischen

Anwendungen (Röntgen, CT, ...) führen. Der Anteil der Kerntechnik, des Kernwaffenfallouts und der radiologischen Nachwirkungen von Unfällen in kerntechnischen Anlagen (z. B. Tschernobyl) ist gering. Der Kernkraftwerksunfall Fukushima / Japan liefert keinen Beitrag. Der zweite Teil der mittleren jährlichen Dosis (ca. 2,1 Millisievert) entstammt der natürlichen Radioaktivität. Führend ist die Inhalation des Edelgases Radon, welche zu mehr als einem Viertel zur mittleren jährlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung beiträgt.



Radon als Quelle natürlicher Radioaktivität

Frage: Was ist Radon und wo kommt es in Hessen vor?

In der Natur kommen etwa 80 Radionuklide in messbaren Konzentrationen vor. Davon gehören 45 den natürlichen Zerfallsreihen der langlebigen Mutternuklide Thorium-232, Uran-235 und Uran-238 an. Diese entstanden in der Nukleosynthese noch vor Entstehung der Erde und sind bis zum heutigen Tag nicht vollständig zerfallen.



Die natürlichen Zerfallsreihen

Durch den radioaktiven Zerfall des Uran-238 wandelt sich dieses unter Aussendung ionisierender Strahlung über mehrere, ebenfalls radioaktive Zwischenstufen (Radium, Polonium) um, bis am Ende der Zerfallskaskade stabiles Blei-206 entsteht (Uran-Radium-Zerfallsreihe). Bei dem im Strahlenschutz als *Radon* bezeichneten Nuklid handelt es sich genauer

um Radon-222, welches als siebentes Nuklid in der Zerfallskette entsteht.

Auch das in der Erdkruste auftretende Thorium-232 zerfällt über verschiedene radioaktive Zwischenstufen (Radium, Polonium) in stabiles Blei-208. Das sechste Nuklid in dieser Zerfallskaskade ist das Radonisotop Radon-220, welches im Strahlenschutz *Thoron* genannt wird.

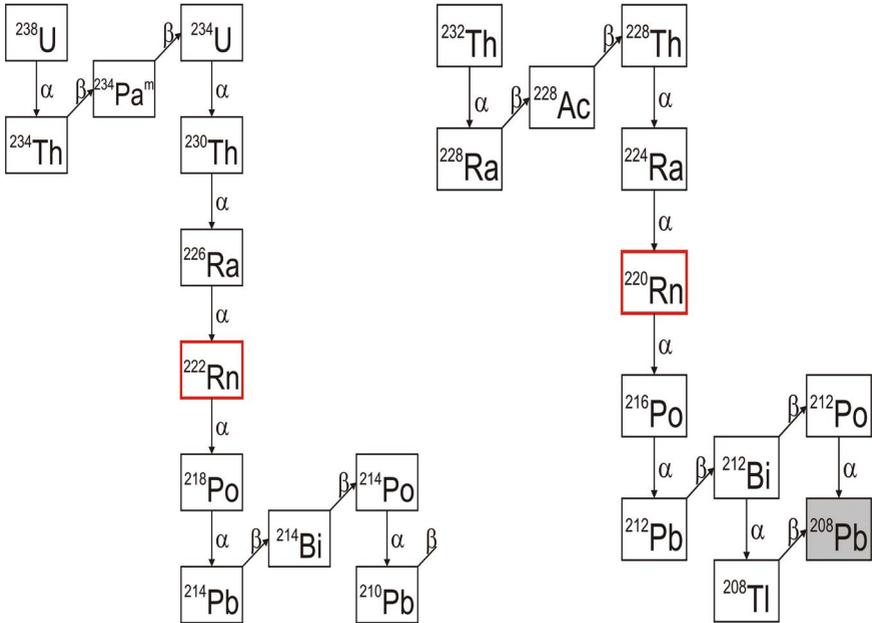


Abbildung 3: Links ist die Zerfallsreihe des Uran-238 (Uran-Radium-Zerfallsreihe) dargestellt. Diese verläuft über das Radonisotop Radon-222 (*Radon*), welches eine Halbwertszeit von 3,82 Tagen hat. Rechts ist die Zerfallsreihe des Thorium-232 (Thorium-Zerfallsreihe) gezeigt, welche Radon-220 (*Thoron*) mit einer Halbwertszeit von etwa 55,6 Sekunden bildet. *Quelle: eigenes Bild.*

Radon und Thoron

Radon ist ein radioaktives Edelgas, welches mit einer Halbwertszeit von 3,82 Tagen in Polonium-218 weiterzerfällt. Es hat unter den 39 bekannten Isotopen des Radons mit 90 % die höchste natürliche Häufigkeit. *Thoron* ist ebenfalls ein radioaktives Edelgas, welches mit einer Halbwertszeit von 55,6 Sekunden in Polonium-216 weiterzerfällt und nach dem *Radon* am zweithäufigsten in der Natur vorkommt. Das Mutternuklid Thorium

kommt in der Erdkruste etwa doppelt bis dreimal häufiger als Uran vor. Dennoch ist die natürliche Häufigkeit des *Thoron* bedingt durch dessen schnelleren Zerfall geringer als die des *Radon*.

Radon und *Thoron* können nicht von menschlichen Sinnesorganen wahrgenommen werden, sind farblos, geschmacklos und geruchlos, weswegen zur Erfassung ihrer Konzentration physikalische Messungen notwendig sind.

Eigenschaft	Radon-222	Radon-220
Aggregatzustand	gasförmig (als Edelgas chemisch inert)	
Sinneswahrnehmung	Farb-, geschmack- und geruchlos	
Zerfallsreihe	Uran-Radium-Zerfallsreihe des Uran-238	Thorium-Zerfallsreihe des Thorium-232
Halbwertszeit	3,82 Tage	55,6 Sekunden
natürliche Häufigkeit von allen Radon-Isotopen	90 %	9 %
zerfällt in	Polonium-218	Polonium-216
Zerfallsart	α	α
Stabiles Isotop der Zerfallsreihe	Blei-206	Blei-208
Name	<i>Radon</i>	<i>Thoron</i>

Tabelle 1: Zusammenstellung einiger Eigenschaften der zwei wichtigsten in der Natur vorkommenden Radonisotope. Im Strahlenschutz meint Radon stets Radon-222. *Quelle: eigenes Bild.*

Radonvorkommen (in Hessen)

Radon entsteht in unterschiedlicher Menge in allen Gesteins- und Bodenarten. Das Edelgas steigt durch poröse Gesteins- und Bodenformationen zur Erdoberfläche und vermischt sich mit der oberflächennahen Luft (= Bodenluft).

Je nach geologischen Gegebenheiten ist die Bodenluft nahe der Erdoberfläche unterschiedlich stark mit Radon angereichert. Um die Radon-Situation in Deutschland und mithin auch in Hessen zu studieren, wurden in der gesamten BRD bis dato einige tausend Bodenluftproben genommen und ausgewertet. Zurzeit werden diese Messungen um 750 weitere Bodenluftmessungen in Hessen

ergänzt. Aus den Ergebnissen dieser Messungen generierte man mit mathematischen Methoden Landkarten, die die regional sehr unterschiedlichen Radonkonzentrationen in der Bodenluft, abhängig von der jeweiligen Geologie und den vorkommenden Gesteins- und Bodenarten wiedergeben.

Die Radonkonzentration in der Bodenluft ist, durch die geologische Beschaffenheit des Untergrunds bedingt, besonders in den Voralpen, dem Bayerischen Wald und dem Erzgebirge hoch ($>100.000 \text{ Bq/m}^3$). Primär in den südlichen Bundesländern finden sich weitere Regionen mit einer erhöhten mittleren Radonkonzentration in der Bodenluft.

Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft

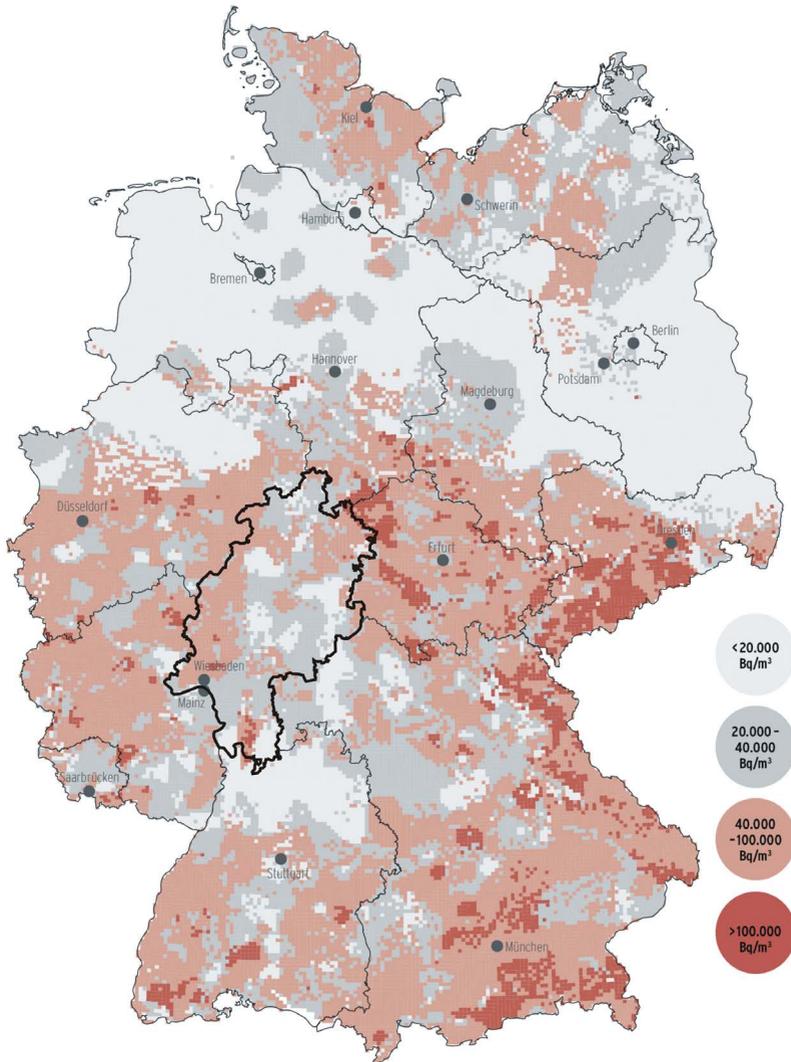


Abbildung 4: Konzentration von Radon in der Bodenluft in Deutschland. Die Messungen wurden in einer mittleren Tiefe von 1 Meter vorgenommen. Aus den Messungen wurde auf die Bodenluftkonzentration in der Rasterung 3x3 Kilometer extrapoliert. *Grafik: Bundesamt für Strahlenschutz.*



Hessen liegt mit einer durchschnittlichen Bodenluftkonzentration von etwa 50.000 Bq/m^3 im Bundesdurchschnitt. Nur sehr kleinräumig hat man in Teilen des Odenwalds sowie an der Grenze zu Thüringen und im Taunus Radonkonzentrationen in der Bodenluft von über 100.000 Bq/m^3 gemessen. In Hessen kommen erhöhte Radonkonzentrationen in der Bodenluft

nicht flächig sondern allenfalls lokal vor.

Der Überblick, den zuvor dargestellte Bodenluftmessungen liefern, ist ausschließlich regional und erlaubt keine Rückschlüsse auf das tatsächliche Radonangebot an einem bestimmten Standort. Der Radongehalt in der Bodenluft kann auf kleinstem Raum große Unterschiede aufweisen.

Radon und mögliche Folgen für die Gesundheit

Frage: Welche Folgen kann das Einatmen von Radon für die menschliche Gesundheit haben?

Bereits im 16. Jahrhundert beobachtete der deutsche Universalgelehrte Georgius Agricola (1494–1555) in Schneeberg im Erzgebirge unter den dortigen Bergleuten eine ungewöhnlich hohe Zahl an tödlich verlaufenden Lungenerkrankungen. Diese sogenannte „Schneeberger Krankheit“ konnte etwa ein Jahrhundert später auch im böhmischen Joachimsthal festgestellt werden. In beiden Gebieten betrieb man zu dieser Zeit intensiv Bergbau (Bleiglanz, Kupfer, Silber, Uran).

Schließlich erkannte die Wissenschaft zu Beginn des 20. Jahrhunderts, dass es sich bei der Schneeberger Krankheit um Lungenkrebs handelte, verursacht durch die hohe Strahlenbelastung, der die Bergleute ausgesetzt waren. Diese Strahlenbelastung resultierte wiederum aus einer unter Tage stark erhöhten Konzentration inhalierten Radons und dessen Folgeprodukten.

Physiologische Wirkung von Radon

Es gehört zu den chemischen Eigenschaften des Edelgases Radon, keine Verbindungen mit seiner Umgebung einzugehen. Radon ist chemisch inert (= reaktionsträge). Atmet der Mensch Radon ein, so wird es, so es nicht zerfällt, wieder ausgeatmet. Jedoch haben die nicht-gasförmigen Zerfallsprodukte des Radons die Eigenschaft an den Lungen- und Bronchialwänden anzuhaften und hier zu zerfallen.

Der Beitrag von Radon zur natürlichen Strahlenbelastung resultiert vor allem aus den beim Zerfall der kurzlebigen Tochternuklide freiwerdenden α -Strahlen (führend sind die kurzlebigen Poloniumisotope). Diese α -Strahlen sind sehr energiereich und führen zu einer nicht unerheblichen Strahlenbelastung des umgebenden, empfindlichen Lungengewebes. Je höher die eingeatmete Radonkonzentration ist, desto höher ist die Strahlenbelastung für die Person.

Erhöhtes Lungenkrebsrisiko durch Radon

Durch Einatmen von Radon und die Anlagerung seiner Folgeprodukte an das empfindliche Lungengewebe kann es zu einer strahlenbedingten Schädigung der Zellen der Lunge kommen. Jedoch verfügt der menschliche Organismus über Reparaturmechanismen, die die meisten dieser Veränderungen in den Zellen wieder beheben. Werden solche Zellschäden jedoch nicht behoben, so können sie die Entstehung von Lungenkrebs verursachen.

Hohe Radonkonzentrationen

Mit erheblichem Aufwand betriebene epidemiologische Studien an Bergarbeiterinnen und Bergarbeitern zeigten, dass das Einatmen von Radon in hohen Konzentrationen ($> 10.000 \text{ Bq/m}^3$) und die daraus resultierende Strahlenexposition zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit der Entwicklung von Lungenkrebs führt. In diesen Untersuchungen bei hohen Radonkonzentrationen zeigte sich eine nahezu lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung. Eine gleichmäßige Erhöhung der Radonkonzentration bewirkt eine konstante Erhöhung der Wahrscheinlichkeit an Lungenkrebs zu erkranken. Allerdings treten Radonkonzentrationen, wie sie im Bergbau in früheren Zeiten vorkamen, im häuslichen Umfeld nicht auf. Heute werden Bergarbeiterinnen

und Bergarbeiter und andere unter Tage Beschäftigte durch bessere Belüftung (Bewetterung), radiologische Überwachung und weitere Arbeitsschutzmaßnahmen vor stark gesundheitsgefährdenden Radonkonzentrationen geschützt.

Niedrige Konzentrationen

Nach der Feststellung, dass Radon in hohen Konzentrationen ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko darstellt und um die Wirkung auch bei niedrigeren Radonkonzentrationen (Bundesdurchschnitt in der Innenraumluft: 40 Bq/m^3) bewerten zu können, wurden in jüngerer Zeit wissenschaftliche Studien angestellt, die einen Zusammenhang zwischen der Belastung durch Radon und dem daraus resultierenden Gesundheitsrisiko bei Radonkonzentrationen, wie sie im häuslichen Umfeld vorkommen, bestimmen sollten. Diese Studien belegten für eine langjährig andauernde Exposition oberhalb 250 Bq/m^3 eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung.

Im Bereich von Radonkonzentrationen unterhalb 250 Bq/m^3 hingegen stoßen diese epidemiologischen Erhebungen und damit auch ihre Aussagen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung aus statistischen Gründen an ihre Grenzen. Einige Ursachen für diese statistischen Unsicherheiten im Bereich niedriger Radonkonzentrationen sind:

- der lange Zeitraum von vielen Jahren bis aus der Strahlenexposition möglicherweise gesundheitliche Schädigungen wie Lungenkrebs folgen können,
- die Schwierigkeit der Rekonstruktion der tatsächlichen Radonkonzentration, der die erkrankte Person ausgesetzt war,
- zahlreiche andere Kanzerogene, die für eine Erkrankung verantwortlich sein können, wie z. B. Rauchen, Asbest, Benzol, Dieselruß, Feinstaub, Chemikalien u. v. m.
- die Wechselwirkung zwischen verschiedenen möglichen Krebsursachen.

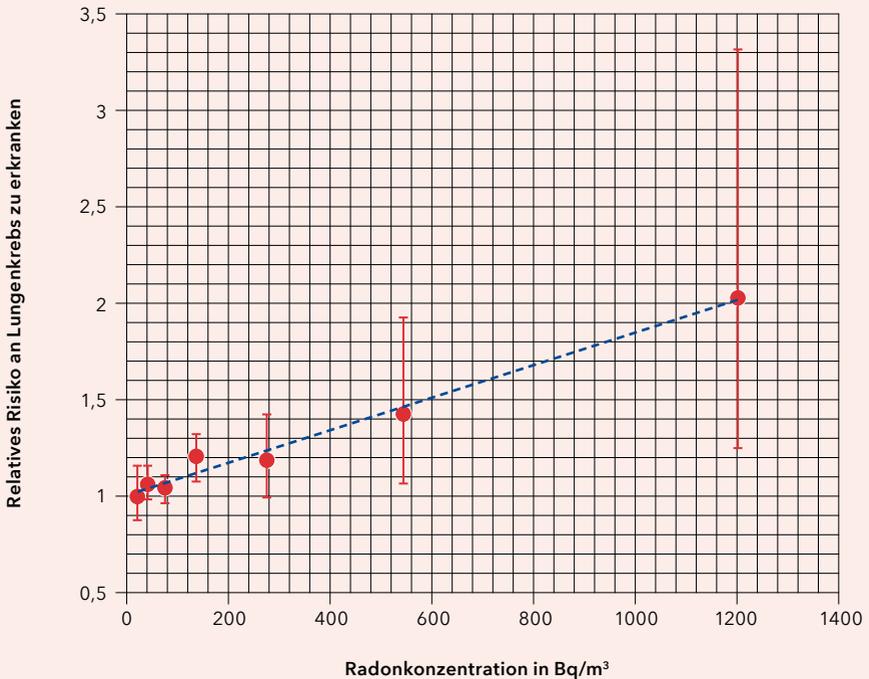


Abbildung 5: Risiko in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in Bq/m³ an Lungenkrebs zu erkranken. Das relative Risiko ohne Radonexposition an Lungenkrebs zu erkranken ist auf 1 gesetzt. Die Daten sind mit einer linearen Funktion (LNT-Modell) beschrieben. *Quelle: eigenes Bild - Die verwendeten Daten entstammen Darby et al 2005 BMJ 2005; 330; 223.*



Bei Radonkonzentrationen unterhalb 150 Bq/m^3 ist eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung mit ausreichender statistischer Signifikanz nicht mehr nachweisbar. In diesem Bereich sind Aussagen zum Zusammenhang von Dosis und Wirkung modellabhängig und nicht eindeutig.

Um bei der Bewertung der Risiken ausreichend vorsichtig zu sein, gehen die internationalen Strahlenschutzgremien und der Gesetzgeber auch bei niedrigen Radonkonzentrationen,

ebenso wie für hohe Radonkonzentrationen, von einer bei 0 Bq/m^3 beginnenden linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert aus. Das LNT-Modell (Linear No Threshold - Linearer Verlauf ohne Schwellenwert) ist eines von vielen Modellen, das die Daten bei Radonkonzentrationen unterhalb 150 Bq/m^3 beschreibt.

Mit der konservativen Annahme, dass das LNT-Modell die Daten beschreibt, kann man das Risiko durch Radon an Lungenkrebs zu erkranken auch für kleine Konzentrationen „theoretisch“ angeben. Eine Erhöhung der Radonkonzentration um 100 Bq/m^3 führt zu einer statistischen Zunahme des relativen Risikos an Lungenkrebs zu erkranken von etwa 16 % (Risikoeffizienten).

Das Bundesumweltministerium hat basierend auf diesen Erkenntnissen errechnet, dass ca. 5 bis 7 % (also etwa 2.000) der jährlich etwa 45.000 Lungenkrebstoten in Deutschland statistisch auf erhöhte Radonkonzentrationen zurückgeführt werden können. Der überwiegende Anteil der statistisch auf Radon zurückzuführenden Erkrankungen liegt in diesen Betrachtungen im Konzentrationsintervall von 0 bis 100 Bq/m^3 . In diesem Bereich ist das Risiko extrem gering, wird jedoch mit einer sehr großen Zahl exponierter Personen multipliziert. Nur wenige hundert Fälle können Radonkonzentrationen zwischen 100 Bq/m^3 und 300 Bq/m^3 zugeordnet werden.

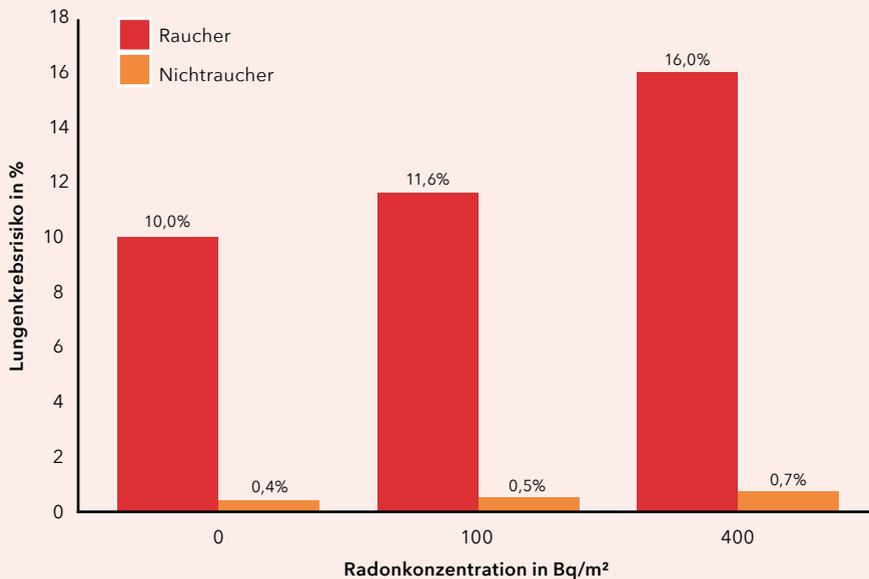


Abbildung 6: Prozentuales Risiko bis zu einem Lebensalter von 75 Jahren an Lungenkrebs zu erkranken in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in Bq/m³. In Rot ist das Risiko für Raucher, in orange ist das Risiko für Nichtraucher aufgetragen. *Quelle: eigenes Bild - Die verwendeten Daten entstammen Darby et al 2005 BMJ 2005; 330; 223.*

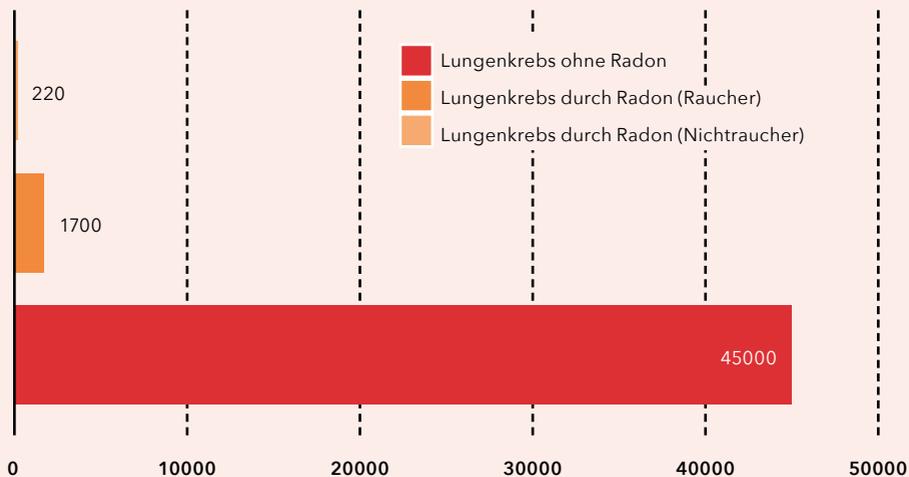


Abbildung 7: Vergleich der in der BRD durch Lungenkrebs bedingten Todesfällen (ohne Radon, durch Radon und durch Radon sowie Rauchen). *Quelle: eigenes Bild - Die verwendeten Daten stammen vom Statistischen Bundesamt.*

Radon und Rauchen

Die Wissenschaft betrachtet Radon direkt nach dem Rauchen als zweithäufigsten Auslöser von Lungenkrebs. Hierbei gilt es zu beachten, dass auch unter den statistisch dem Radon zuzuschlagenden Lungenkrebskrankungen mehr als 90 % bei Rauchern auftreten. Studien zeigten, dass sich die Risiken durch Rauchen und durch Radon an Lungenkrebs zu erkranken multiplikativ verhalten. Beide Risiken verstärken sich gegenseitig. Das Lungenkrebsrisiko wächst für Raucher mit Erhöhung der Radonkonzentration deutlich stärker als für Nichtraucher.

Generell ist das Risiko für Raucher an Lungenkrebs zu erkranken um etwa das 25-fache gegenüber Nichtrauchern erhöht. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass die bei weitem wirksamste Maßnahme zur Reduzierung des Lungenkrebsrisikos die Einstellung des Rauchens ist.

Die Gefahr durch Radon im Vergleich zu anderen Risiken

Mit den aus der Epidemiologie erhaltenen Zahlen gelingt eine Einordnung des theoretischen Risikos durch eine von Radon verursachte Erkrankung an Lungenkrebs zu Tode zu kommen. Insgesamt gibt es in der BRD jährlich 932.000 Sterbefälle.

Die therapeutische Wirkung von Radon – Radon in der medizinischen Therapie

Radon wird in der medizinischen Anwendung gezielt für therapeutische Zwecke eingesetzt. An verschiedenen Standorten (außerhalb Hessens) werden Inhalationskuren in Radonstollen (Bad Kreuznach und Bad Gastein) oder Trink- beziehungsweise Badekuren mit radonhaltigem Wasser (Bad Schlema, Bad Brambach) durchgeführt.

In klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass diese Radonanwendungen eine Schmerzlinderung und Funktionsbesserung bei rheumatischen Erkrankungen (Morbus Bechterew, rheumatoide Arthritis, weitere Erkrankungen der Wirbelsäule und der Gelenke, Schuppenflechte) des menschlichen Bewegungsapparats bedingen. Einhergehend sinkt der Verbrauch an Schmerzmitteln (mit allen Nebenwirkungen) und eine Erhöhung der Lebensqualität der Patienten ist feststellbar. Eine wissenschaftliche Erklärung dieses Phänomens ist bisher lediglich in Ansätzen gelungen (Hormesis der Zellen gegen Stress).

Allerdings gilt es zu beachten, dass bei der medizinischen Anwendung von Radon die Gesundheitsrisiken durch erhöhte Strahlenbelastung



(z. B. Lungenkrebsrisiko) nicht zu vernachlässigen sind. Beispielsweise werden in Radonstollen wie Bad Gastein oder Bad Kreuznach Radonkonzentrationen von bis zu 150.000 Bq/m^3 , also weit jenseits des Wertes von wenigen 100 Bq/m^3 ab dem bei dauerhafter Inhalation eine Zunahme des Risikos an Lungenkrebs zu erkranken festgestellt wurde, gemessen. Da der Patient dieser Radonkonzentration jedoch nur kurzzeitig ausgesetzt ist, ergeben sich aus den Radonkuren effektive Dosen, die etwa im Bereich der mittleren Jahresdosis durch die natürliche Radioaktivität der Umwelt liegen ($< 2 \text{ mSv/a}$).

In Radonbädern ist die effektive Dosis deutlich geringer, da die Patienten in Wannen sitzen welche zum Hals

und zum Kopf gasdicht abgeschlossen sind. Die Räume, in denen Radonbäder genommen werden, sind aus Gründen des Arbeitsschutzes gut belüftet. Mithin erfolgt hier keine erhöhte Inhalation von Radon. Die therapeutische Wirkung erfolgt über die Aufnahme des Edelgases durch die Haut.

Bei Radonbehandlungen (als spezielle Form der Strahlentherapie) muss der behandelnde Arzt stets eine Abwägung zwischen positiven Effekten auf das Krankheitsbild und negativen Langzeiteinflüssen durch die Radonaufnahme und resultierende Strahlenbelastung vornehmen (Rechtfertigung). Zu betrachten sind der Nutzen in Relation zum Leiden des Patienten sowie möglicher Nebenwirkungen.

Radon in Gebäuden

Frage: Wie gelangt Radon in Gebäude und Wohnungen?

Frage: Wie beeinflusst mein Nutzungsverhalten die Radonkonzentration im Haus?

Generell geht von der Bodenluft (gemessen in einem Meter Tiefe unterhalb der Bodenoberfläche) keine Gefahr für die menschliche Gesundheit aus. Auch von der bodennahen Luft im Freien geht kein Risiko für die menschliche Gesundheit aus, da das Radongas hier durch ständige Luftbewegung verteilt und verdünnt wird. Verdünnungen um einen Faktor 1.000 sind typisch, so dass bei Bodenluftkonzentrationen von 10.000 bis 100.000 Bq/m³ schließlich nur 10 bis 100 Bq/m³ in der Freiluft übrigbleiben.

Eindringpfade für Radon in Gebäude

Anders verhält es sich in manchen Fällen in Gebäuden. In typischerweise Kellerräumen oder geschlossenen, schlecht belüfteten Räumen in Bodennähe kann es unter bestimmten Voraussetzungen (geringer Luftaustausch, schlechte Bausubstanz, Nutzungsverhalten) zu einer erhöhten Konzentration von Radon in der Innenraumluft kommen. Darüber hinaus halten sich Menschen heute überwiegend in Gebäuden auf. Die Kombination aus langen Aufenthaltszeiten, schlechter Bausubstanz und

Nutzungsverhalten kann vereinzelt dazu führen, dass die Radonkonzentration in der Innenraumluft gesundheitsgefährdende Werte (Erhöhung des Lungenkrebsrisikos) erreicht. Der Verdünnungseffekt der Bodenluft an unbebauter Oberfläche kommt hier unter Umständen nicht zum Tragen. In Kellerräumen ist es möglich, dass eine Verdünnung der eindringenden Bodenluft nur um einen Faktor 100 erfolgt und somit Radonkonzentrationen von 100 bis über 1.000 Bq/m³ erreicht werden.

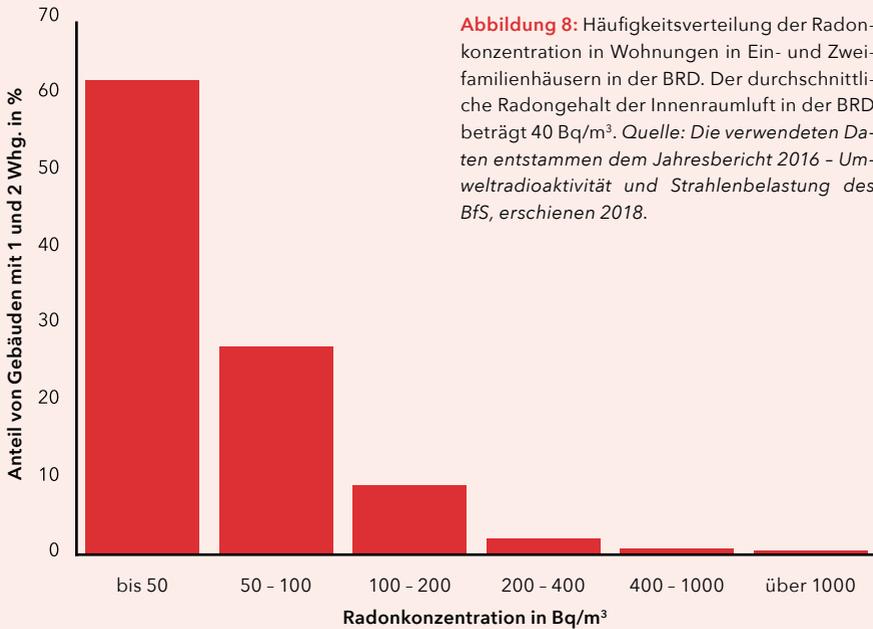


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern in der BRD. Der durchschnittliche Radongehalt der Innenraumluft in der BRD beträgt 40 Bq/m³. Quelle: Die verwendeten Daten entstammen dem Jahresbericht 2016 - Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung des BfS, erschienen 2018.

Trink- und Brauchwasser

Radon ist ein wasserlösliches Edelgas und kann mit Trink- sowie Brauchwasser in Häuser gelangen. Hier wird das Radon zum Beispiel beim Kochen oder Duschen wieder freigesetzt. Der Beitrag des Radons aus dem Wasser an der Gesamtradonkonzentration in Häusern ist allerdings in aller Regel klein. Allenfalls in unbelüfteten Bädern können durch Zerstäuben des Wassers beim Duschen kurzzeitig sehr hohe Radonkonzentrationen von bis zu 30.000 Bq/m³ entstehen. Da die Aufenthaltszeit in Bädern bei normaler Nutzung nicht sehr lang ist und Bäder nach dem Duschen in der Regel belüftet werden, ist dieser

Eindringpfad für die dauerhafte Radonbelastung in Innenräumen nachrangig. Die Aufnahme von Radon durch Ingestion über das Trinkwasser ist im Vergleich zur Inhalation nur sehr gering.

Eindringen in Keller und bodenberührte Räume

Der führende Eindringpfad für Radon ist der Durchfluss von Bodenluft durch Undichtigkeiten in Gebäude. Die wichtigsten Barrieren gegen eindringendes Radon stellen die Bodenplatte sowie die im Erdreich liegenden Kellerwände eines Hauses dar. Sind diese durchlässig, so kann Radon mit der Bodenluft durch diese

Undichtigkeiten in Kellerräume eindringen. Als besonders schwerwiegend erweisen sich die folgenden Schwachstellen an Gebäuden:

- Kellerböden ohne betonierete Bodenplatte, mit gestampftem Lehm, Erde oder Kies,
- Risse und Fugen in Fundament, Böden und erdberührten Wänden,
- Schlecht abgedichtete Durchführungen von Kabeln und Rohren.

Sind diese Kellerräume schlecht oder gar nicht belüftet, erhöht sich die Radonkonzentration hier. Dieser Effekt wird verstärkt, wenn bereits die eindringende Bodenluft eine erhöhte Radonkonzentration aufweist.

Die Radonkonzentration ist in der Nähe des Eintrittsortes am höchsten und nimmt mit zunehmender Entfernung zum Eintrittsort ab. Jedoch kann sich das Radon über Treppenaufgänge, Leitungsschächte, Kabel- und Rohrdurchführungen auch in die oberen Stockwerke ausbreiten. Meist ist dabei eine Abnahme der Radonkonzentration mit der Höhe des Stockwerks und der Entfernung zur Undichtigkeit festzustellen, doch auch hier kann es unter Umständen durch fehlenden Luftwechsel zu einer Aufkonzentration kommen.

Sind Bodenplatte und erdberührte Wände frei von offenen Undichtigkeiten, so kann Radon nur per Diffusion durch die Bodenplatte und die Wände in die Kellerräume gelangen. Da diese

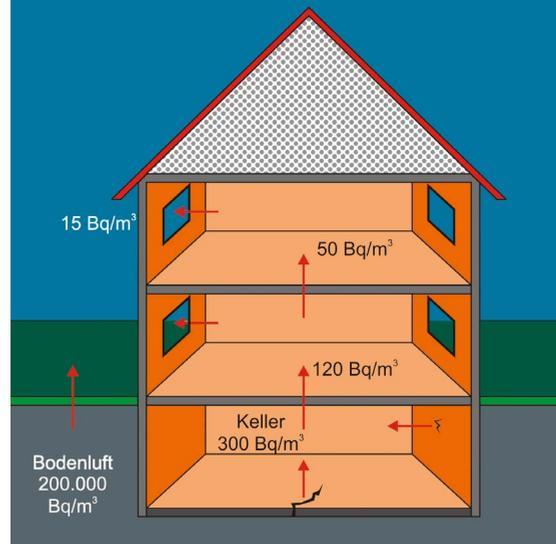


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Eindringens von Radon mit der Bodenluft durch Undichtigkeiten im Keller eines Hauses und anschließende Verteilung über die Stockwerke. Quelle: eigenes Bild.

Art der Radondiffusion vergleichsweise lange dauert, ist ein großer Teil des radioaktiven Edelgases bereits zerfallen bevor es in das Haus eindringt. Bei einer Halbwertszeit von etwa 3,8 Tagen ist nach 3 Halbwertszeiten (< 12 Tage) 90 % des Radons zerfallen.

Die bei Neubauten üblichen Schutzmaßnahmen gegen Bodenfeuchtigkeit reichen, abgesehen von Gebieten mit hohem geogenen Radonpotential, aus, um eine Aufkonzentration von Radon in Keller- und erdberührten Räumen zu verhindern.

In nachfolgender Abbildung sind deutschlandweite durchschnittliche Radonkonzentrationen in Innenräumen je nach Landkreis dargestellt.

Durchschnittliche Radonkonzentrationen in Wohnungen

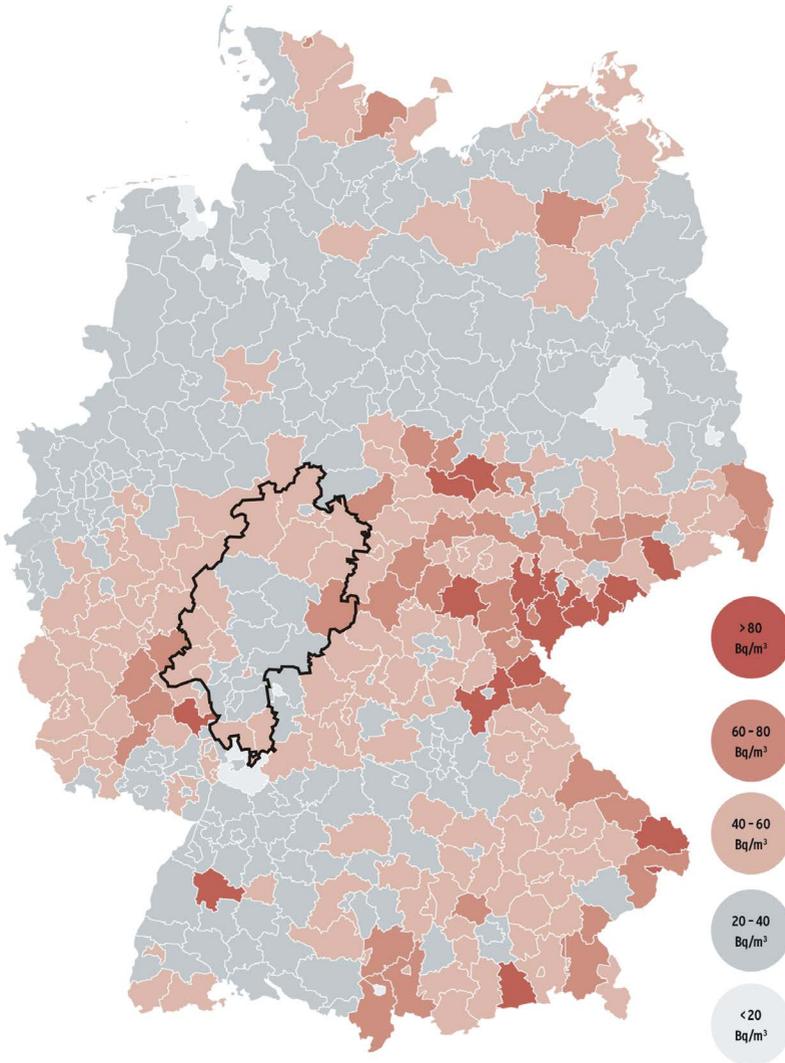


Abbildung 10: In der Karte sind die durchschnittlichen Radonkonzentrationen in der Innenraumluft gemittelt über die bundesdeutschen Landkreise gezeigt. Die Abschätzung beruht auf Messungen der Radonkonzentration in Wohnungen und erlaubt keine Aussage für eine einzelne Wohnung oder einen bestimmten Innenraum. *Grafik: Bundesamt für Strahlenschutz.*



In Hessen ist die Radonkonzentration in der Innenraumluft wegen günstiger geologischer Voraussetzungen (vergleichsweise niedrige Radonkonzentrationen in der Bodenluft wegen eines geringen geogenen Angebots an Uran) und geeigneter Bausubstanz im Durchschnitt relativ gering. So haben Messungen bei nicht repräsentativ ausgewählten Häusern in Hessen eine mittlere Radonkonzentration von 43 Bq/m^3 ergeben, ein Wert, der etwa dem Bundesdurchschnitt entspricht. Jedoch fanden sich auch in unserem Bundesland vereinzelt Gebäude mit Radonkonzentrationen oberhalb 1.000 Bq/m^3 in Kellerbereichen.

Das Nutzungsverhalten der Hausbewohnerinnen und Hausbewohner

Neben den geologischen Gegebenheiten und der Möglichkeit des Eindringens von Radon in Gebäude (Bausubstanz) spielt auch das Nutzungsverhalten der Bewohnerinnen und Bewohner eine entscheidende Rolle für die Aufkonzentration des Edelgases. Diese Zusammenhänge sind, wie nachfolgend angedeutet, komplex. Radonkonzentrationen in Innenräumen reagieren bereits auf kleine Änderungen.

Besonders das Lüftungsverhalten hat einen direkten Einfluss auf die Radonkonzentration in der Innenraumluft. Durch den Austausch mit der Außenluft kommt es zu einer Vermischung der Luft in den Innenräumen, wodurch die Radonkonzentration in der Regel sinkt. Dies gilt jedoch nicht nur für Lüftung nach außen, sondern auch für den Luftaustausch innerhalb eines Hauses. Beide Beiträge führen darüber hinaus dazu, dass der Radongehalt in der Innenraumluft über den Tag variiert. Da nachts weniger gelüftet wird, steigt die Radonkonzentration häufig an.

Ebenso beeinflusst das Heizverhalten der Bewohnerinnen und Bewohner die Radonkonzentration in der Innenraumluft. Ist der Temperaturunterschied zwischen dem Hausinnern und der Umgebung des Hauses groß, weil z. B. in den Wintermonaten geheizt wird, so kann die Radonkonzentration in der Innenraumluft deutlich höher liegen als in den Sommermonaten. Die Temperaturunterschiede zwischen dem Hausinneren und der Umgebung des Hauses erzeugen einen Luftstrom von warm nach kalt, welcher wiederum zu einem erhöhten Radoneintrag führt (Kamineffekt). Die Radonkonzentration unterliegt,

bedingt durch das individuelle Heizverhalten, ebenfalls jahreszeitlichen Schwankungen, welche es bei der Bestimmung der mittleren Radonkonzentration zu beachten gilt (bei einer üblichen Messdauer von drei Monaten sollte dieser Zeitraum in der Heizperiode liegen). Bereits ohne Heizen stellt man einen Jahrgang der Radonkonzentration in der Innenraumluft fest, was wiederum auf den Jahrgang des Radons in der Bodenluft zurückzuführen ist.

Darüber hinaus sind die Aufenthaltszeiten in den verschiedenen Räumen zu berücksichtigen. Die Strahlenexposition ergibt sich aus der Radonkonzentration und der Dauer, der die Person dem radioaktiven Edelgas ausgesetzt ist (Aufenthaltszeit). So halten wir uns viele Stunden am Tag in Arbeits- und Wohnräumen auf. Da diese Räume meist in oberen Stockwerken liegen, ist trotz hoher Aufenthaltszeiten wegen der niedrigen Radonkonzentrationen auch die Strahlenexposition durch Radon unkritisch.

In den am stärksten von Radon betroffenen Kellerräumen hingegen sind die Aufenthaltszeiten meist kurz, dafür die Radonkonzentration unter Umständen erhöht.

Radonmessungen

Frage: Wie wird Radon gemessen?

Da das Edelgas Radon farb-, geschmack- und geruchlos ist und entsprechend nicht durch menschliche Sinnesorgane wahrgenommen werden kann, mussten Messmethoden zur Bestimmung von Radonkonzentrationen entwickelt werden. Es existieren verschiedene Möglichkeiten der Radonmessung, welche je nach Einsatzgebiet angewendet werden.

Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft

Da die Bodenluft nachweislich die Hauptquelle für Radon in Innenräumen ist und hier darüber hinaus weniger störende Nebeneffekte bei der Messung der Radonkonzentration

(unterschiedliches Nutzungsverhalten der Bewohner, Bausubstanz, ...) auftreten, wurden in Deutschland umfangreiche Messungen zur regionalen Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft durchgeführt. Gemessen wird die Radonverfügbarkeit im Boden.

Beprobung	Messung	Einsatzzweck
Ansaugen der Bodenluft mit einer abgedichteten Sonde aus einer Bodentiefe von 1 m	Messung der Szintillation der entnommenen Bodenluftprobe	Baugrunduntersuchung und Kartierung
Kontinuierliche Förderung der Bodenluft aus 1 m Tiefe mittels einer Pumpe	Messung mittels Radonmonitor im Durchflussbetrieb	Baugrunduntersuchung
Registrierung der α -Teilchen mit einem Kernspurdetektor	Messung in 1 m Tiefe und anschließende Auswertung im Labor	Baugrunduntersuchung und Kartierung

Tabelle 2: Auswahl von Messverfahren für die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die Messungen erfolgen i. d. R. in 1 Meter Tiefe unter der Erdoberfläche. Quelle: SMUL.

Bei Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft ist zu beachten, dass die Messergebnisse durch äußere Bedingungen bestimmten Beeinflussungen unterliegen (Bodenfeuchte, Temperatur, Luftdruck). Das hessische Umweltministerium führt zusammen mit der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) und dem hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) seit 2018 eine landesweite, umfassende Messkampagne der Radonkonzentration in der Bodenluft durch.

Messung der Radonkonzentration im Innenraum

Für die Bewertung möglicher Gesundheitsrisiken müssen Radonkonzentrationen an konkreten Aufenthaltsorten von Menschen ermittelt werden. Hier bieten sich Raumluftmessungen über einen längeren Zeitraum an.

Dabei kommen in der Regel einfache, passive Messgeräte, sogenannte Radon-Exposimeter, die einen Kernspurdetektor beinhalten zum Einsatz. Solche Radon-Exposimeter sind unkompliziert in der Handhabung und völlig ungefährlich. Sie enthalten weder giftige noch radioaktive Substanzen und bedürfen während der Messungen keiner Wartung oder Stromversorgung.

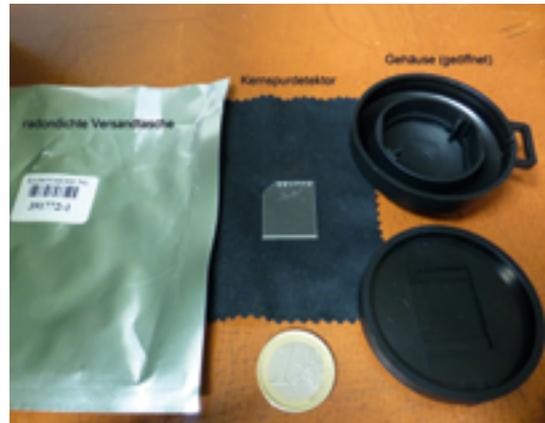


Abbildung 11: Geöffnetes Radon-Exposimeter mit enthaltenem Kernspurdetektor. Quelle: eigenes Bild.

Radon-Exposimeter liefern im Ergebnis den Mittelwert der Radonkonzentration über den jeweiligen Messzeitraum (häufig drei Monate). Tageszeitliche Veränderungen der Radonkonzentration können hingegen nicht bestimmt werden. Um die Qualität der Messungen zu gewährleisten, muss das Radon-Exposimeter in Ruhe gelassen werden. Darüber hinaus sollte auch die Messumgebung nicht verändert werden, da bereits kleine Änderungen zu Beeinflussung der Messergebnisse führen.

Ein einfaches Radon-Exposimeter zur Messung der Radonkonzentration kann im Fachhandel bereits für unter 50 Euro bezogen werden. Der Preis

beinhaltet die Lieferung des Radon-Exposimeters, die Auswertung des Kernspurdetektors sowie die Zusendung der Messergebnisse.

Etwas teurer, jedoch im Unterschied zu Radon-Exposimetern zeitaufgelöst (in kurzen zeitlichen Abständen wird jeweils ein Wert für die Radonkonzentration bestimmt und es findet keine Mittelung über längere Zeiträume statt) sind aktive Zeitverlaufsmessungen mit Radonmonitoren oder elektronischen Dosimetern. Zeitverlaufsmessungen stellen unter Umständen eine Ergänzung zu den Messungen

mit Radon-Exposimetern dar. Zum Einsatz kommen aktive (batteriegestützte) Geräte, die in bestimmten Zeitabständen Zwischenwerte der Radonkonzentration in der Raumluft ermitteln und diese speichern. Aus den erfassten Daten kann der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration bestimmt werden (Tagesgang, Jahresgang). Solche Verfahren finden beispielsweise bei der Bewertung von Arbeitsplätzen Anwendung, wenn tageszeitliche Schwankungen oder der Einfluss der Lüftung, Raumbegehung o. ä. untersucht werden sollen.

Messdauer	Zweck	aktiv	passiv
Minuten / Stunden	Grobe Orientierung, Suche nach Eintrittspfaden	Kontinuierliche Messung mit Radonmonitoren / elektronischen Dosimetern und Abspeicherung einer Zeitreihe der Messwerte	-
Einige Tage	Orientierungsmessungen, Erfassung kurzzeitiger Schwankungen bzw. Tagesgang		Kernspur- oder Radonsammler (Aktivkohle) mit anschließender Laborauswertung
Wochen bis Jahre	Bewertung der tatsächlichen mittleren Radonbelastung durch Vergleich mit Referenzwerten als Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen	Wiederholte zeitaufgelöste Messungen über bestimmte Zeitabschnitte mit den o. g. Messgeräten	

Tabelle 3: Auswahl von Messverfahren für die Radonkonzentration in der Innenraumluft. Für die Bewertung einer Messung ist deren Dauer (zwischen wenigen Minuten und einem Jahr) ausschlaggebend. Quelle: SMUL.

Maßnahmen gegen Radon in Gebäuden

Frage: Was kann ich tun, um mich vor der schädlichen Wirkung von Radon zu schützen?

Das geologische Angebot an Radon im Boden nahe der Erdoberfläche lässt sich durch technische Hilfsmittel kaum beeinflussen. Die Radonkonzentration in der Innenraumluft lässt sich dagegen reduzieren, indem man Maßnahmen gegen den Eintritt von Radon in das Gebäude und gegen die Ausbreitung im Gebäude ergreift und für eine regelmäßige Lüftung sorgt.

Da verschiedene Faktoren in unterschiedlichem Maße zur Radonkonzentration in Gebäuden beitragen, gibt es keinen universellen Radonschutz, der alle Situationen gleichermaßen abdeckt. Die individuelle Situation muss betrachtet (Messungen) und daraus müssen die geeigneten Maßnahmen entwickelt werden. Sowohl für die Messungen als auch die abgeleiteten Maßnahmen können qualifizierte Fachfirmen herangezogen werden.

Neubauten

Bei Bauausführung nach Stand der Bautechnik (insbesondere Feuchteschutz) kann davon ausgegangen werden, dass Keller und erdberührte Wände nur in geringem Maße radondurchlässig sind. So werden in den meisten Regionen Deutschlands Raumluftkonzentrationen von 150 Bq/m^3 nur selten überschritten. Neubauten sind bezüglich Radon in der Regel (für eine Radonkonzentration in der Bodenluft von unter 100.000 Bq/m^3) unbedenklich.

In Regionen, in denen das geogene Angebot an Radon besonders hoch ist und wo Messungen gehäuft hohe Radonkonzentrationen in der Innenraumluft zeigten, sollte jedoch auch bei Neubauten und Neubauvorhaben auf Radonschutz geachtet werden. Solche zusätzlichen Radonenschutzmaßnahmen sind, so sie in die Bauabläufe eingeplant werden, kostengünstig zu realisieren. In den noch festzulegenden Radonvorsorgegebieten sind über den Feuchteschutz nach Stand der Technik hinausgehende Maßnahmen zum Radonschutz verpflichtend.

Bestandsgebäude

Anders als bei Neubauten ist die Situation bei Bestandsgebäuden, deren Bauausführung schon einige Jahre oder Jahrzehnte zurückliegt. Mit Blick auf die Bausubstanz und

das Angebot an geologisch vorhandenem Radon empfehlen sich hier Radonmessungen in den Innenräumen. Das Bundesumweltministerium gibt abhängig von der gemessenen Radonkonzentration folgende Empfehlungen:

Messwert in Bq/m ³	Empfohlene (bauliche) Maßnahme
< 100	keine Maßnahmen erforderlich
100 – 400	einfache Maßnahmen
400 – 1.000	Maßnahmen in Rahmen vorgesehener Renovierung und Instandhaltung
> 1.000	möglichst baldige gezielte Radonsanierung durch Fachfirma

Tabelle 4: Empfohlene Maßnahmen auf Grund von Messungen der Radoninnenraumkonzentration bei Bestandsgebäuden. Quelle: Bundesumweltministerium

Einfache Maßnahmen

Um eine leicht erhöhte Radonkonzentration in der Innenraumluft in den Griff zu bekommen, genügen häufig bereits einfache bauliche Maßnahmen zusammen mit Änderungen im Nutzungsverhalten. Diese sind für Hobbyhandwerker ohne externe Hilfe zu bewerkstelligen.

- Um das Eindringen von Radon in Kellerräume und erdberührte Räume zu unterbinden, sollten Eindringstellen (Risse und Fugen in Böden und erdberührenden Wänden, Rohrdurchführungen, Leitungskanäle und -schächte)

abgedichtet werden. Ebenso sollten Bereiche mit Unterdruck (Abzugshauben, Abluftventilatoren in Nassräumen, offene Fenster an der windabgewandten Hausseite, thermischer Auftrieb in offenen Kaminen) vermieden oder geschlossen werden.

- Um die Ausbreitung von Radon im Haus zu verhindern, sollten mögliche Ausbreitungspfade (offene Kellertüren, Treppenhäuser, Leitungsdurchführungen vom Keller in die Wohnräume, Installations-schächte für Heizung, Sanitär und Elektro, Wartungsöffnungen) geschlossen werden.



- Um die Radonkonzentration in Kellerräumen und erdberührten Räumen abzusenken, ist verstärktes Querlüften geboten.

Weiterführende Maßnahmen

Genügen einfache Maßnahmen nicht, um die Radonkonzentration in der Innenraumluft auf unbedenkliche Werte zu reduzieren, so sind weiterführende Maßnahmen in Betracht zu ziehen. Diese sind aufwendiger und müssen, um den Erfolg sicherzustellen, i. d. R. von qualifizierten Fachfirmen ausgeführt werden.

- Um das Eindringen von Radon in die Kellerräume und erdberührten Räume zu unterbinden, können Eindringstellen im Kellerbereich (Erd-, Lehm oder Kiesfußböden, Haarrisse in Kellerböden und -wänden) mittels radondichter

Sperrschichten (Kunststofffolien, Bitumenbahnen) versiegelt werden.

- Zur Absenkung der Radonkonzentration in der Innenraumluft trägt der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bei (energetische Sanierung).
- Durch gezieltes Abführen von Radon vor dem Eindringen ins Gebäude kann die Radonkonzentration in der in das Gebäude eindringenden Luft reduziert werden (Radon-Brunnen).
- Die radonhaltige Bodenluft kann gezielt vor dem Eindringen in das Gebäude abgesaugt werden (Radon-Drainage).

Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen sollte etwa 2 bis 3 Monate nach Abschluss der Sanierung durch Kontrollmessungen überprüft werden.

Gesetzgebung zum Radon / Schutz vor Radon

Frage: Was unternehmen der Gesetzgeber und die Behörden, um mich vor der schädlichen Wirkung von Radon zu schützen?

Die Europäische Kommission hat in den Grundnormen (Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 05. Dezember 2013) generelle Regelungen für Radon an Arbeitsplätzen sowie in Innenräumen erarbeitet. Diese sind im Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 und der Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 29. November 2018 seit dem 31. Dezember 2018 für die Bundesrepublik Deutschland verbindlich gemacht.

Referenzwerte

Der Gesetzgeber hat für Aufenthaltsräume und für Arbeitsplätze einen Referenzwert für die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft festgelegt. Der Referenzwert beträgt nach §§ 124, 126 StrlSchG 300 Bq/m^3 .

Ausdrücklich handelt es sich um einen Referenzwert und nicht um einen Grenzwert. Anders als bei einem Grenzwert führt eine Überschreitung eines Referenzwerts nicht zwingend zu sanktionierenden Maßnahmen (z. B. Betätigungsverbote). In diesem Sinne ist ein Referenzwert als Zielwert zu verstehen, auf den

unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zu optimieren ist. Im Falle unbilliger Härte oder wenn dem ein unangemessener Aufwand entgegensteht, können die zuständigen Behörden im Einzelfall Radonaktivitätskonzentrationen oberhalb des Referenzwerts tolerieren. Auch wenn die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen unterhalb des Referenzwertes liegen, sollen weitere Maßnahmen zur Optimierung des Radon-222-Gehaltes der Raumluft durchgeführt werden. Hierbei ist die Verhältnismäßigkeit der geforderten Maßnahmen und deren Wirkung zu berücksichtigen.

Festlegung von Radonvorsorgegebieten

Der § 121 StrlSchG verpflichtet die Bundesländer zwei Jahre nach Inkrafttreten der StrlSchV (mithin zum 31.12.2020) Gebiete festzulegen, für die erwartet wird, dass die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen den Referenzwert von 300 Bq/m³ überschreitet. Dies sind die sogenannten Radonvorsorgegebiete.

Nach § 153 Abs. 1 StrlSchV hat die zuständige Behörde die Festlegung der Radonvorsorgegebiete auf Grundlage einer wissenschaftlich basierten Methode und unter Zugrundelegung geeigneter Daten (geologische Daten, Messdaten der Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft, Messdaten der Bodenpermeabilität, Messdaten zur Radon-222-Aktivitätskonzentration in Aufenthaltsräumen oder an Arbeitsplätzen sowie Fernerkundungsdaten) vorzunehmen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat eine wissenschaftlich basierte Methode entwickelt, welche auf Grundlage umfänglicher Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Innenräumen sowie der unterliegenden Geologie die rechtssichere Festlegung der Radonvorsorgegebiete ermöglicht.

Nach § 153 Abs. 2 StrlSchV kann die zuständige Behörde eines Bundeslandes davon ausgehen, dass die

über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration den Referenzwert von 300 Bq/m³ in einer beträchtlichen Anzahl von Gebäuden in der Luft von Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen überschreitet, wenn der Referenzwert in einer Vorhersage mit der Methode des BfS auf mindestens 75 Prozent des auszuweisenden Gebiets in mindestens 10 Prozent der Anzahl der Gebäude überschritten wird.

Die Festlegung der Radonvorsorgegebiete hat nach § 153 Abs. 3 StrlSchV innerhalb der in einem Land bestehenden Verwaltungsgrenzen zu erfolgen. Zurzeit plant Hessen eine Festlegung der Radonvorsorgegebiete in den Verwaltungsgrenzen der Landkreise.

In den Radonvorsorgegebieten sehen das StrlSchG und die StrlSchV konkrete Rechtsfolgen für Neubauten und für Arbeitsplätze, die im Erd- oder Kellergeschoss liegen, vor.



Schutz vor Radon bei Neubauten und baulichen Änderungen

Wer Gebäude mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen errichtet, ist nach § 123 Abs.1 StrlSchG verpflichtet, geeignete Maßnahmen zu treffen, um den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren. Außerhalb der Radonvorsorgegebiete gilt diese Pflicht als erfüllt, wenn die nach Stand der Technik erforderlichen Maßnahmen zum Feuchteschutz umgesetzt sind. Diese sind in den DIN-Normen 18533 und 4108 zusammengefasst.

Wer in einem ausgewiesenen Radonvorsorgegebiet baut, der muss zusätzlich zu den nach Stand der Technik erforderlichen Maßnahmen zum Feuchteschutz mindestens eine der weiteren Maßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog des § 154 StrlSchV ausführen:

- Verringerung der Radon-222-Aktivitätskonzentration unter dem Gebäude,
- gezielte Beeinflussung der Luftdruckdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und Bodenluft an der Außenseite von Wänden und Böden mit Erdkontakt, sofern der diffusive Radoneintritt aufgrund des Standorts oder der Konstruktion begrenzt ist,
- Begrenzung der Rissbildung in Wänden und Böden mit Erdkontakt und Auswahl diffusionshemmender Betonsorten mit der

- erforderlichen Dicke der Bauteile,
- Absaugung von Radon an Randfügen oder unter Abdichtungen,
- Einsatz diffusionshemmender, konvektionsdicht verarbeiteter Materialien oder Konstruktionen.

Möglichkeiten zur technischen Umsetzung sind im Abschnitt „Maßnahmen gegen Radon in Gebäuden“ beschrieben und erläutert. Für die fachgerechte Ausführung wird empfohlen, sich einer qualifizierten Fachfirma zu bedienen.

Die zuständige Behörde kann von der Pflicht geeignete Maßnahmen gegen Radonzutritt zu treffen (generell Feuchteschutz nach Stand der Technik und in den Radonvorsorgegebieten eine zusätzliche Maßnahme aus § 154 StrlSchV) absehen, wenn diese einen unangemessenen Aufwand für den Bauherrn bedeutet, z. B. wenn auch ohne Maßnahmen (zum Feuchteschutz) eine Überschreitung des Referenzwertes nicht zu erwarten ist. Die Befreiung von der Verpflichtung geeignete Maßnahmen gegen Radonzutritt zu treffen, erfolgt im Einzelfall auf Antrag bei der zuständigen Behörde.

Sind im Rahmen baulicher Veränderungen eines Gebäudes mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen Maßnahmen (z. B. Wärmedämmung, energetische Sanierung) vorgesehen, die zu einer erheblichen Verminderung der Luftwechselrate führen, so soll gemäß § 123 Abs. 4 StrlSchG

die Durchführung von Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Betracht gezogen werden. Der Gesetzgeber setzt dabei, da auch Bestandsbauten von dieser Regelung umfasst sind, auf Freiwilligkeit.

Radonmaßnahmenplan und Radonstrategie der Länder

Gemäß § 122 Abs. 1 StrlSchG hat das Bundesumweltministerium unter Beteiligung der Bundesländer einen Radonmaßnahmenplan erstellt und veröffentlicht. Der Radonmaßnahmenplan formuliert Ziele und erläutert Maßnahmen zur Bewältigung der langfristigen Risiken durch Radon in Aufenthaltsräumen oder an Arbeitsplätzen in Innenräumen. Er soll dazu dienen, die durch Radon und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte bedingten Lungenkrebsfälle nachhaltig zu reduzieren. Dabei behandelt der Radonmaßnahmenplan alle möglichen Quellen für den Radonzutritt, den Boden, das Wasser aber auch Bauprodukte. Primärer Adressat des Radonmaßnahmenplans des Bundes sind die Bundesländer sowie die nachgeordneten Behörden des Bundes, welche die im Radonmaßnahmenplan zusammengefassten Aufgaben erfüllen sollen. Ein Link zum Radonmaßnahmenplan des Bundes findet sich unter „Weiterführende Informationen“ in vorliegender Broschüre.

Die Bundesländer sind nach § 122 Abs. 4 StrlSchG verpflichtet, eine an die speziellen Bedingungen in ihrer Zuständigkeit angepasste Strategie zum Umgang mit den langfristigen Risiken der Exposition durch Radon zu entwickeln (Landesradonstrategie). Diese Landesradonstrategie muss den Radonmaßnahmenplan des Bundes berücksichtigen. Darüber hinaus sind die notwendigen Daten (z. B. Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft oder in Innenräumen) zu erheben. Zur Erfüllung dieser Vorgaben hat das Land Hessen bereits verschiedene Einzelmaßnahmen veranlasst:

- Hessenweite Messkampagne der Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft,
- geplante Einrichtung eines hessischen Radonzentrums (HeRaZ) an der Technischen Hochschule Mittelhessen ab 2020,
- Vergabe und Durchführung verschiedener Forschungsvorhaben zur Ausbreitung und Messung von Radon in Gebäuden,
- vorliegende Broschüre „Radon in Hessen“,
- Internetauftritt des Hessischen Umweltministeriums zum Thema Radon.

Eine kohärente und umfassende hessische Landesradonstrategie ist in der Entwicklung und wird in Kürze veröffentlicht.

Unterrichtung der Bevölkerung und Reduzierung der Radonkonzentration

Eine Voraussetzung eines umfassenden gesetzlichen Radonschutzes ist, die Bevölkerung über die gesundheitlichen Auswirkungen hoher Radonkonzentrationen sowie mögliche Abhilfemaßnahmen zu unterrichten. Hierdurch soll die Bereitschaft, Maßnahmen zur Reduktion der Radonaktivitätskonzentration in Innenräumen zu ergreifen, erhöht werden. Der § 125 Abs. 1 StrlSchG verpflichtet den Bund und die Bundesländer, die Bevölkerung in geeigneter Weise über:

- die Exposition durch Radon in Aufenthaltsräumen,
- die Gesundheitsrisiken durch die Radonexposition,
- die Wichtigkeit der Radonmessungen,
- die technischen Möglichkeiten zur Verringerung der Radonaktivitätskonzentration in Aufenthaltsräumen

zu informieren.

Darüber hinaus verpflichtet § 125 Abs. 2 StrlSchG den Bund und die Bundesländer, Maßnahmen anzuregen, um Aufenthaltsräume zu ermitteln, in denen die Radonaktivitätskonzentration in der Luft den Referenzwert von 300 Bq/m^3 überschreitet. Auch werden technische oder andere Mittel zur Verringerung der Exposition durch Radon empfohlen. Die vorliegende Informationsbroschüre

„Radon in Hessen“ trägt zur Erfüllung dieser gesetzlichen Vorgaben bei.

Radon im Trinkwasser

Die Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 21.05.2001, zuletzt geändert am 03.01.2018, beinhaltet einen Parameterwert von 100 Bq/m^3 für die Radonkonzentration im Trinkwasser. Die Überwachung dieses Parameterwerts obliegt den Gesundheitsämtern der Landkreise. In einer ersten, nach der TrinkwV verpflichtenden Untersuchung der Trinkwasserqualität aller größeren Wasserentnahmestellen in Hessen wurde keine Überschreitung des Parameterwertes für die Radonkonzentration im hessischen Trinkwasser festgestellt.

Radon in Bauprodukten

Der Beitrag von Bauprodukten zur Radonexposition in Innenräumen ist überwiegend gering. Gesetzliche Regelungen zu Radon bei Bauprodukten beinhaltet das StrlSchG nicht. Aus anderen Ländern ist bekannt, dass in seltenen Fällen Bauprodukte mit einem hohen Thoriumanteil einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zur Gesamtradonexposition in Innenräumen leisten.

Gesetzgebung zum Radon / Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen

Frage: Wie schützt der Gesetzgeber Beschäftigte, die berufsbedingt oder wegen der Lage ihres Arbeitsplatzes in einem Radonvorsorgegebiet besonders hohen Radonkonzentration ausgesetzt sind?

Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen in Innenräumen

Für Arbeitsplätze, die in einem Radonvorsorgegebiet im Erd- oder Kellergeschoss liegen, hat der Gesetzgeber gemäß § 127 StrlSchG eine Messpflicht vorgesehen. Das StrlSchG verlangt, dass der für einen Arbeitsplatz in einem Innenraum Verantwortliche 18 Monate nach Festlegung der Radonvorsorgegebiete oder 18 Monate nach Aufnehmen der Tätigkeit eine Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft vorgenommen und abgeschlossen haben muss. Die Messergebnisse sind aufzuzeichnen und fünf Jahre aufzubewahren. Auch hat der für den Arbeitsplatz Verantwortliche unverzüglich die betroffenen Arbeitskräfte und den Betriebsrat bzw. Personalrat über die Ergebnisse der Messungen zu unterrichten. Gemäß § 155 StrlSchV sind die Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration bei einer vom BfS

anerkannten Stelle anzufordern und nach deren Vorgaben einzusetzen. Der Link zur Liste der vom BfS anerkannten Stellen findet sich in den weiterführenden Informationen. Der Link zur Liste der vom BfS anerkannten Stellen findet sich in den weiterführenden Informationen. Die Dauer der Messung beträgt zwölf Monate. Eine Verkürzung der Messdauer ist lediglich dann zulässig, wenn bereits nach kürzerer Zeit abzusehen ist, dass der Referenzwert überschritten ist.



Schutz vor Radon in speziellen Arbeitsfeldern

Anders als die vergleichsweise kleinen Radonkonzentrationen in Häusern und Wohnungen oder an der Mehrzahl der Arbeitsplätze in Innenräumen, gibt es bestimmte Arbeitsfelder, für die gemäß Anlage 8 StrlSchG mit erhöhter Exposition durch Radon zu rechnen ist:

- untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerke,
- Radonheilbäder und Heilstollen,
- Anlagen zur Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung.

Fallen Arbeitsplätze in diese Arbeitsfelder, hat der Arbeitgeber nach § 127 StrlSchG innerhalb von 18 Monaten nach Aufnahme der beruflichen Betätigung eine Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration durchzuführen und abzuschließen. Die Messungen unterliegen den gleichen Vorgaben wie die Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen im Erd- oder Kellergeschoss in Radonvorsorgegebieten.

Behördlich angeordnete Messungen

Die zuständige Behörde kann anordnen, dass der für den Arbeitsplatz Verantwortliche eine Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration auch an anderen als den vorgenannten

Arbeitsplätzen (Arbeitsplätze in einem Radonvorsorgegebiet im Erd- oder Kellergeschoss, Arbeitsplätze in Arbeitsfeldern nach Anlage 8 StrlSchG) zu veranlassen hat, wenn Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass die Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft über dem Referenzwert nach § 126 StrlSchG liegt.

Gestuftes Verfahren an Arbeitsplätzen

Ergibt die Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration an einem Arbeitsplatz eine Überschreitung des Referenzwerts von 300 Bq/m^3 (unabhängig davon ob dieser Arbeitsplatz im Erd- oder Kellergeschoss in einem Radonvorsorgegebiet liegt oder einem der Arbeitsfelder mit erhöhter Exposition durch Radon zuzuordnen ist), so greift ein gestuftes Verfahren (graded approach). Gemäß § 128 StrlSchG ist der für den Arbeitsplatz Verantwortliche unverzüglich zur Reduzierung der Radon-222-Aktivitätskonzentration verpflichtet. Er hat dazu geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Eine Auswahl möglicher Maßnahmen findet sich in vorliegender Broschüre „Radon in Hessen“. Der Erfolg der ergriffenen Maßnahmen ist durch nochmalige Messung der Radon-222-Aktivitätskonzentration innerhalb von 24 Monaten nach Bekanntwerden der Überschreitung nachzuweisen. Ergibt auch die Nachmessung eine Überschreitung des einschlägigen Referenzwerts, so hat



Abbildung 12: Das Schaubild zeigt den gestuften Ansatz (graded approach) aus dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) für Arbeitsplätze, die einem Arbeitsfeld der Anlage 8 StrlSchG zuzuordnen sind oder für Arbeitsplätze im Erd- oder Kellergeschoss eines Gebäudes, welches sich in einem Radonvorsorgegebiet befindet.

der für den Arbeitsplatz Verantwortliche diesen Arbeitsplatz nach § 129 StrlSchG unverzüglich bei der zuständigen Behörde anzumelden. Der zur Anmeldung Verpflichtete muss nach § 130 StrlSchG innerhalb von sechs Monaten nach der Anmeldung eine Abschätzung der effektiven Dosis (z.B. durch auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Radon-222-Exposition, durch Abschätzung der Alphaenergie-Exposition oder der Körperdosis) vornehmen. Dabei kann die Aufenthaltszeit berücksichtigt werden. Ergibt diese Abschätzung der effektiven Dosis keine Überschreitung des Wertes von 6 Millisievert, so hat der zur Abschätzung Verpflichtete die Radonexposition regelmäßig zu überprüfen und durch geeignete Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes so gering wie möglich zu halten. Ist der Wert für die effektive Dosis von 6 Millisievert überschritten, so greifen nach § 131 StrlSchG Anforderungen des beruflichen Strahlenschutzes. Diese umfassen nach § 158 StrlSchV

die Optimierung, Messungen, Einhaltung von Dosisgrenzwerten für den beruflichen Strahlenschutz, Führung eines Strahlenpasses und arbeitsmedizinische Untersuchung. Darüber hinaus kann die zuständige Behörde gemäß § 158 Abs. 4 StrlSchV weitere Maßnahmen aus dem beruflichen Strahlenschutz, den Erlass einer Strahlenschutzanweisung, das Einrichten von Strahlenschutzbereichen und deren messtechnische Überwachung sowie die Unterweisung anordnen, wenn es die Expositionsbedingungen erfordern.

Wir hoffen, Ihnen mit dieser Broschüre die notwendigen Informationen und Unterstützung zu geben sowie Ihre Fragen mit hinreichender Genauigkeit beantwortet zu haben. Weiterführende Informationen und Literatur finden Sie nachfolgend. Sollten trotzdem offene Fragen bleiben, so finden Sie am Ende der Broschüre eine Liste mit Adressaten.

Glossar

Radioaktivität und Aktivität: Als Radioaktivität bezeichnet man die Eigenschaft instabiler Atomkerne, spontan ihren Zustand zu ändern oder sich in einen anderen Kern umzuwandeln, wobei ionisierende Strahlung frei wird. Die Zahl der in einer bestimmten Zeit zerfallenden Atomkerne heißt Aktivität. Sie wird in Becquerel (Bq) gemessen: 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde. Als Faustregel kann gelten, dass die Aktivität einer radioaktiven Substanz umso höher ist, je mehr von der Substanz vorhanden ist, außerdem umso höher, je kürzer die Halbwertszeit der vorliegenden Sorte Atomkerne ist.

Dosis: Die Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen heißt Dosis und wird in Sievert (Sv) gemessen.

Epidemiologie: Die Epidemiologie bezeichnet die Lehre von den Ursachen, der Verbreitung und den Folgen von gesundheitlichen Zuständen oder Ereignissen in einer Population. Sie befasst sich nicht mit dem konkreten Krankheitsfall einer Einzelperson, sondern studiert Krankheitsbilder in großen Gruppen (Kohorten) mit statistischen Methoden.

Halbwertszeit (HWZ): Die Zeit, in der von einer großen Zahl radioaktiver Kerne einer bestimmten Sorte die Hälfte zerfällt, heißt Halbwertszeit (HWZ). Sie kann – je nach Sorte des Atomkerns – von Sekundenbruchteilen bis zu Jahrmilliarden betragen.

Höhenstrahlung: Höhenstrahlung ist die hochenergetische Teilchenstrahlung von der Sonne, der Milchstraße sowie weiter entfernten Galaxien. Beim Auftreffen der Höhenstrahlung auf die Erdatmosphäre entstehen durch Wechselwirkung mit den

Gasmolekülen sekundäre Schauer ionisierender Strahlung.

Hormesis: Die Hypothese, wonach geringe Strahlendosen eine positive Wirkung auf den menschlichen Organismus haben, wird als Hormesis bezeichnet. Allerdings ist diese Annahme wissenschaftlich bisher nicht ausreichend verifiziert, sodass die internationalen Fachgremien im Strahlenschutz von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert ausgehen.

Ionisierende Strahlung: Beim Zerfall radioaktiver Atomkerne entsteht energiereiche Strahlung, die die Fähigkeit hat, andere Atome zu ionisieren. Man unterscheidet im Wesentlichen drei Arten dieser sog. ionisierenden Strahlung:

- α -Strahlung: energiereiche Heliumkerne (2 Protonen und 2 Neutronen)
- β -Strahlung: energiereiche Elektronen
- γ -Strahlung: hochenergetische elektromagnetische Strahlung

Inkorporation: Unter Inkorporation versteht man die Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper über den Atemtrakt (Inhalation), über den Darmtrakt (Ingestion) sowie über Wunden oder Schleimhäute. Jede Inkorporation radioaktiver Stoffe führt zu einer inneren Strahlenexposition. Durch Inkorporation werden die natürlichen Schutzbarrieren des Körpers (z.B. Hornhaut) umgangen, sodass speziell die sonst abgeschirmte α -Strahlung ihre schädliche Wirkung entfalten kann.

Kernspurdetektor Ein Kernspurdetektor enthält einen Film, indem die α -Teilchen des Radons winzige Spuren hinterlassen. Diese Spuren werden mittels Ätzung sichtbar gemacht und gezählt. Aus der

Zahl der Spuren lässt sich direkt auf die mittlere Radonkonzentration in der Raumluft schließen.

LNT-Modell: Die Epidemiologie kann im Bereich kleiner Dosiswerte (etwa unter 100 mSv) aus statistischen Gründen keine eindeutige Beziehung zwischen der Dosis und der möglichen schädlichen Wirkung herstellen und muss deshalb dort mit einem mathematischen Modell arbeiten. Die internationale Wissenschaft geht heute davon aus, dass eine Dosis-Wirkungs-Kurve mit linearem Verlauf ohne Schwellenwert (LNT = Linear no-threshold, linear ohne Schwellenwert) auch bei kleinen Dosen die bestmögliche Beschreibung der Wirkung von ionisierender Strahlung darstellt.

Nukleosynthese: Nukleosynthese bezeichnet die Entstehung der Atomkerne und damit der chemischen Elemente. Die Wissenschaft unterscheidet zwischen der primordialen Nukleosynthese kurz nach dem Urknall und der stellaren Nukleosynthese durch Kernfusion in den Sternen.

Nuklid, Radionuklid und Isotop: Ein Nuklid bezeichnet eine Art von Atomen mit gleichem Atomkern (identische Zahl an Protonen und Neutronen). Ein Radionuklid ist ein instabiles, radioaktives Nuklid. Ein Isotop hingegen beschreibt eine Art von Atomen mit gleicher Zahl an Protonen, jedoch unterschiedlicher Zahl an Neutronen im Kern.

Radonvorsorgegebiet: Gebiet, für das erwartet wird, dass die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen den Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter überschreitet.

Risikoeffizient: Die Steigung der Dosis-Wirkungs-Kurve entspricht dem Risikoeffizient. Das Produkt aus Risikoeffizient und Dosis wiederum ergibt das Risiko einer strahlungsbedingten Schädigung.

Schneeberger Krankheit: Veraltete Bezeichnung für eine bei Bergleuten gehäuft auftretende Form des Lungenkrebes. Ausgelöst wird die Schneeberger Krankheit durch die hohe Radonkonzentration unter Tage und die Einwirkung der ionisierenden Strahlung der Radonzerfallsprodukte auf das empfindliche Lungengewebe.

Strahlenexposition: Strahlenexposition ist die Einwirkung von Strahlung auf Mensch oder Umwelt. Strahlung wird in Materie abgebremst, gibt dabei Energie ab und kann dadurch lebende Zellen schädigen. α -Strahlung ist dabei besonders wirksam, hat jedoch in Materie die kürzeste Reichweite. So genügen bereits ein Blatt Papier oder die menschliche Hornhaut, um α -Strahlung zu stoppen. β -Strahlung und erst recht γ -Strahlung ist sehr viel durchdringender.

Szintillation: Szintillation bezeichnet die Eigenschaft bestimmter Stoffe unter Einwirkung ionisierender Strahlung Lichtblitze auszusenden. Diese Lichtblitze werden bei der Szintillationsmessung registriert und gezählt.

Zerfallsreihe: Beim Zerfall eines Atomkerns kann erneut ein instabiler, radioaktiver Kern entstehen, der seinerseits weiter zerfällt. Dieser Prozess setzt sich so lange fort, bis ein stabiler Atomkern entsteht. Die von der Natur festgelegte Abfolge solcher Zerfälle und die dabei vorkommenden Radionuklide bezeichnet man als Zerfallsreihe. In der Natur kommen nur die Zerfallsreihen der drei Radionuklide Thorium-232, Uran-238 und Uran-235 vor.

Diese sind:

- Uran-Radium-Reihe (Ausgangsnuklid: Uran-238, Endnuklid: Blei-206)
- Uran-Actinium-Reihe (Ausgangsnuklid: Uran-235, Endnuklid: Blei-207)
- Thorium-Reihe (Ausgangsnuklid: Thorium-232, Endnuklid: Blei-208)

Weiterführende Informationen

Frage: Wo erhalte ich weiterführende Informationen zum Thema Radon?

Informationen zu Radon allgemein

www.radon-info.de

Informationsseite zum Radon durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)

www.radon.sachsen.de

Bayerisches Radonnetzwerk des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU)

http://www.lfu.bayern.de/strahlung/radon_netzwerk/index.htm

Radoninformationsstelle Rheinland-Pfalz des Rheinland-Pfälzischen Landesamtes für Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht

<https://lfu.rlp.de/de/arbeits-und-immissionsschutz/radoninformationen/radon-informationsstelle/>

Informationsseite des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV)

<https://umwelt.hessen.de>

Informationsseite des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS)

http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/umwelt_node.html

Radonmaßnahmenplan des Bundes

<https://www.bmu.de/publikation/radonmassnahmenplan/>

Liste der gemäß § 155 StrlSchV anerkannten Messstellen

<http://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/anerkennung/anerkennung.html>

Verbraucherfenster Hessen - Radon

<https://verbraucherfenster.hessen.de/umwelt-technik/bauen-wohnen/radon-%E2%80%93-informationen-zum-strahlenschutz>

Kontaktformular des Hessischen Umweltministeriums (für Fragen)

<https://umwelt.hessen.de/kontaktformular-umweltministerium>

HESEN



**Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz**

Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden
www.umwelt.hessen.de